

# Dynamics of the solar convection zone and atmosphere

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Ploner, Stefan R.O.

**Publication date:**

1999

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002077514>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss ETH No. 13 009

# Dynamics of the Solar Convection Zone and Atmosphere

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Science

Presented by

Stefan R. O. Ploner

Dipl. Phys. ETHZ  
born first June 1965  
citizen of Habsburg, AG

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. J. O. Stenflo, examiner  
Prof. Dr. S. K. Solanki and  
Dr. habil M. Schüssler, co-examiner

1998

# ABSTRACT

This theses deals with two dynamical processes: solar convection and waves in concentrated magnetic elements. Both subjects are introduced in *Chapter 1*.

The first part of the thesis investigates the results of a 2-D numerical simulation of solar convection. In a first step, it is necessary to clean the granular pattern from relatively strong oscillations. The cleaning process is described in *Chapter 2*.

The investigations of *Chapter 3* are based on the observation that the simulated granules die either through fragmentation or through dissolution. In order to find the physical reason for these contrary modes to death, we search for differences in the mean temporal evolution in several physical parameters. It turns out that fragmenting granules expand and build up a considerable relative pressure excess whereas dissolving granules shrink and suffer from ever decreasing pressure. The main reason for this is mass conservation which demands that the central pressure excess in granules grows with their size in order to be able to push the gas towards the lanes. This means that large granules succeed to expand whereas small granules cannot successfully oppose them and shrink.

The locations of so-called active granules is found to form a large-scale pattern. *Chapter 4* shows that this pattern can be identified with mesogranulation using the same criteria as used by observers. According to the standard text book explanation, mesogranulation is driven by the underlying, convectively unstable layers of first helium ionization. Since these layers are not included in the simulation, the first helium ionization zone cannot be the primary cause for mesogranulation.

*Chapter 5* presents ideas on how the work of the first part can be improved and extended.

The second part of the thesis deals with waves in small magnetic elements. Such waves are supposed to take mechanical energy out of the convection zone, transport it into higher atmospheric layers, and supply the chromosphere and corona with energy which contributes to heating them. If such waves are present in photospheric magnetic flux tubes they might show up in Stokes polarization profiles, since they alter the magnetic field and introduce velocities.

Using a simple MHD model we predict the signature of two wave modes in Stokes profiles. We find that the waves periodically shift and broaden the profiles and make them asymmetric. Kink waves, discussed in *Chapter 6*, are found to efficiently distort the profiles: even in temporally averaged profiles strong asymmetries are introduced.

Torsional waves, the subject of *Chapter 7*, affect the profiles in a qualitatively similar to kink waves. Quantitatively, the effect is much smaller, in particular in averaged line profiles.

*Chapter 8* is dedicated to an investigation on the so-called thin flux-tube approximation, which has been used for the model calculations of Chapters 6 and 7. We find that this approximation applied to twisted flux tubes fails to describe the wave modes properly, since it allows for unphysical modes.

The outlook given in *Chapter 9* concludes the work of the second part.

# ZUSAMMENFASSUNG

Themen der Arbeit sind zwei dynamische Phänomene auf der Sonne. Granulation und Konvektion werden im ersten Teil behandelt, Wellenbewegungen in konzentrierten magnetischen Feldern im zweiten Teil. Das *erste Kapitel* leitet die Arbeit ein.

Der erste Teil der Arbeit ist in drei Kapitel unterteilt. Die Vorbereitungen zur Auswertung einer zwei-dimensionalen Simulation solarer Konvektion sind Thema des *zweiten Kapitels*. Darin werden Wellenphänomene (3 und 5 Minuten – Oszillationen) von der Granulation getrennt.

Der Fragestellung des *dritten Kapitels* liegt die Beobachtung zugrunde, dass die simulierten Granulen sich entweder teilen oder auflösen. Um die Ursache der gegensätzlichen Entwicklung aufzuspüren, untersuchen wir zuerst den zeitlichen Verlauf gemittelter physikalischer Parameter. Dieser zeigt, dass die sich teilenden Granulen ausdehnen und einen relativen Überdruck aufbauen. Die sich auflösenden Granulen werden bei gleichzeitig abnehmendem Druck kleiner. Die gegensätzliche Entwicklung ist hauptsächlich auf die Grösse der Konvektionszelle zurückzuführen. Da die Grösse über die Masseerhaltung den Überdruck in der Zelle und somit die Stärke der horizontalen Strömung aus der Zelle heraus bestimmt, können sich grosse Zellen gegenüber kleinen behaupten, expandieren und die Entwicklung bestimmen.

Bei gewissen Zellen wiederholen sich Expansion und Fragmentation mehrmals. Im *vierten Kapitel* wird gezeigt, dass ihre Anordnung ein neues, der Granulation überlagertes Muster bildet, das erstaunlicherweise mit den Beobachtungen der Mesogranulation übereinstimmt. Erstaunlicherweise deshalb, weil für die Mesogranulation die tiefer gelegene, erste Heliumionisationszone verantwortlich gemacht wird, welche aber in der Simulation nicht eingeschlossen wurde.

Im *fünften Kapitel* stellen wir mögliche Schritte zur Verbesserung und Fortsetzung der Studie dar.

Im zweiten Teil der Arbeit stehen Wellenbewegungen in dünnen, magnetischen Flussröhren im Zentrum. Durch solche Wellen – nach einer verbreiteten Vorstellung – wird mechanische Energie aus der Konvektionszone durch die Photosphäre hindurch in höher gelegene Schichten transportiert. Dort wird die Energie dissipiert und trägt zur Heizung der Chromosphäre und Korona bei.

Da Wellen in Flussröhren das Magnetfeld verformen und Geschwindigkeiten induzieren, verändern sie auch den Polarisationszustand des Lichtes einzelner Spektrallinien. Im *sechsten* und *siebten* Kapitel werden Veränderungen in Polarisationsprofilen zweier bestimmter Wellentypen mit Hilfe einfacher Modellrechnungen vorhergesagt. Grundsätzlich sind die Wellenbewegungen an periodischen Veränderungen der Linienbreite, Linienverschiebung und Linienasymmetrie zu erkennen. Knickwellen, die im sechsten Kapitel untersucht werden, führen zu bedeutenden Veränderungen, die sogar in zeitlich gemittelten Profilen noch erhalten bleiben. Torsionswellen, das Thema des siebten Kapitels, beeinflussen Stokes Profile in ähnlicher Weise wie Knickwellen; die Veränderungen sind – besonders in gemittelten Profilen – deutlich schwächer.

Das *achte Kapitel* untersucht die Beschreibung der Wellen mit Hilfe der Näherung dünner Flussröhren, mittels derer die Modellrechnungen des zweiten Teils ausgeführt worden sind. Für verdrillte Flussröhren liefert die Näherung – so das Resultat der Untersuchung – unphysikalische Lösungen, was als Zeichen einer Inkonsistenz in den Rechnungen aufgefasst werden muss.

Mit dem Ausblick im *neunten Kapitel* werden weiterführende Untersuchungen und Arbeitsschritte vorgestellt.